

РАЗРАБОТКА КОМПЬЮТЕРНОЙ МОДЕЛИ В ПАКЕТЕ ANSYS ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ РАБОТЫ ПЛАСТИНЧАТОГО ТЕПЛООБМЕННИКА И ПРОВЕДЕНИЯ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

Аннотация

В докладе использованы элементы автоматизированного инженерного анализа тепловых режимов пластинчатого теплообмена с использованием пакета ANSYS (модуль ANSYS FLUENT). Авторами разработана компьютерная модель пластинчатого теплообменника для лабораторной установки, используемой студентами металлургических специальностей при изучении курса «Теплотехника». Полученные в ходе компьютерного моделирования результаты согласуются с результатами экспериментального изучения теплообменных процессов в теплообменнике.

Ключевые слова. ANSYS, моделирование, пластинчатый теплообменник, автоматизация, инженерный анализ, лабораторный практикум.

Abstract

The report uses elements of computer-aided engineering analysis of thermal conditions of a plate heat exchanger with the use of ANSYS package (ANSYS FLUENT module). The authors have developed a computer model of a plate heat exchanger for a laboratory used by the metallurgical professions students in the study of the course "heat engineering" The findings of the computer simulation results are consistent with the results of an experimental study of heat transfer processes in a heat exchanger.

Keywords: ANSYS, modelling, plate heat exchanger, automation, engineering analysis, laboratory practical work.

Использование в инженерной практике современных систем автоматизации инженерных (CAE, Computer Aided Engineering) совместно с системами автоматического проектирования (CAD, Computer Aided Design) существенно ускоряет весь цикл разработки и изготовления новых конструкций теплотехнических устройств [1; 2]. Быстрое выполнение инженерных расчетов позволяет своевременно вносить в проект изменения на основе полученных результатов и исключить необходимость внесения дорогостоящих проектных изменений на поздних этапах проектирования. Совместное использование имитационного компьютерного моделирования и физических лабораторных испытаний позволяет получить большую уверенность в результатах анализа и сократить количество физических прототипов.

Для обучения студентов навыкам компьютерного инженерного анализа теплотехнических устройств на кафедре «Теплофизика и информатика в металлургии» института материаловедения и металлургии ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина» используется программный комплекс ANSYS Academic Teaching Advanced.

В докладе представлена расчетная модель для лабораторной установки «Испытание пластинчатого теплообменника», выполненная в программном модуле ANSYS FLUENT. Целью исследования является компьютерное моделирование теплообменных процессов при движении жидкости в пластинчатом теплообменном аппарате и сопоставление полученных расчетных значений с результатами экспериментальных лабораторных исследований. Конструкция и принцип работы пластинчатого теплообменника изучаются студентами в курсе «Теплотехника» на лабораторной установке, представленной на схеме (рис. 1) [3].

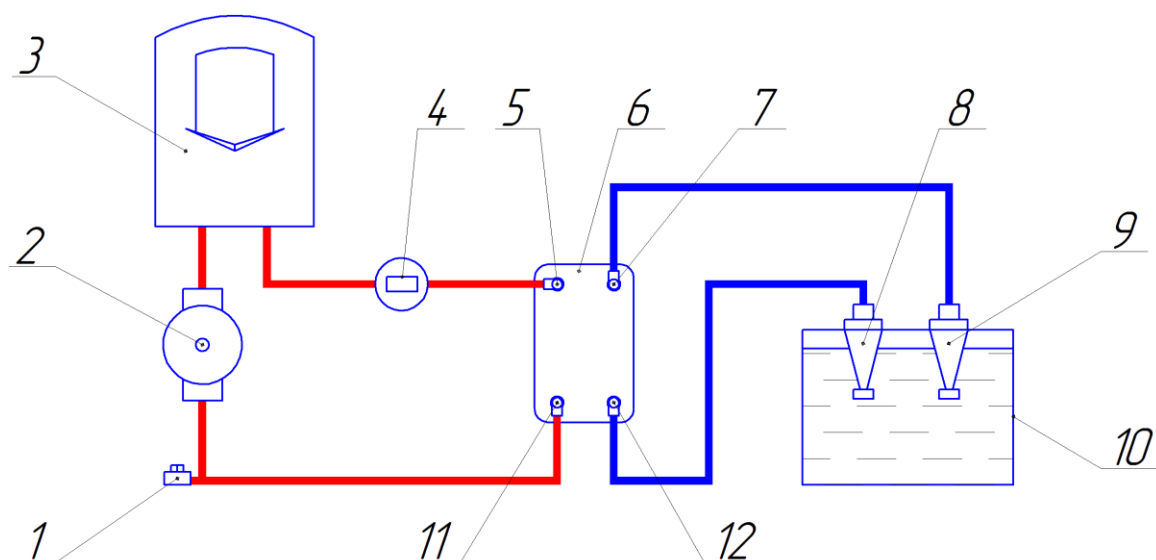


Рис. 1. Схема лабораторной установки:

- 1 – сливной кран горячего теплоносителя; 2 – циркуляционный насос подачи горячего теплоносителя; 3 – водонагреватель со ступенчатым управлением нагревом; 4 – счетчик расхода горячего теплоносителя с импульсным выходом; 5 – датчик температуры горячего теплоносителя на входе в теплообменник Т1; 6 – пластинчатый теплообменник; 7 – датчик температуры холодного теплоносителя Т3; 8 – насос подачи холодного теплоносителя противотоком; 9 – насос подачи холодного теплоносителя прямооток; 10 – резервуар холодного теплоносителя; 11 – датчик температуры горячего теплоносителя на входе теплообменника Т2; 12 – датчик температуры холодного теплоносителя Т4.

Основным элементом теплообменника являются теплопередающие пластины, изготовленные из коррозионно-стойких сплавов толщиной 0,4–1,0 мм методом холодной штамповки (рис. 2). Пластины плотно прижаты друг к другу и образуют щелевые каналы. Два из четырех отверстий в пластине обеспечивают подвод и отвод греющей или нагреваемой среды к каналу. Два других отверстия, дополнительно изолированы малыми контурами, предотвращающими смешение (переток) греющей и нагреваемой сред. Для предупреждения смешивания сред в случае прорыва одного из малых контуров прокладки предусмотрены дренажные пазы.

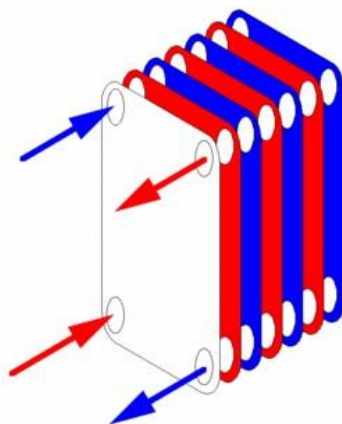


Рис. 2. Упрощенная схема пластинчатого теплообменника

Пространственное извилистое течение жидкости в каналах способствует турбулизации потоков, а противоток между нагреваемой и греющей средой способствует увеличению

температурного напора и, как следствие, интенсификации теплообмена при сравнительно малых гидравлических сопротивлениях.

Основной платформой решения задачи в пакете ANSYS является проект ANSYS Workbench, представляющий собой совокупность геометрических, физических и конечно-элементных моделей тел задачи, для которой находят результат численного решения [4; 5].

Решение задачи инженерного анализа включает в себя следующие основные этапы:

1) создание геометрии расчетной модели (препроцессинг). Здесь создается геометрическая модель, задаются материал и его свойства, генерируется конечно-элементная сетка, определяются физические условия моделирования. В результате этого этапа получают модель, подготовленную для численного решения;

2) настройка решателя и решение. На этом этапе задаются настройки решателя, параметры, обеспечивающие сходимость итерационного процесса, и запускается решение задачи. Результатом этапа является численное решение;

3) обработка и представление результатов моделирования (постпроцессинг). В этом этапе на базе полученного численного решения задачи выполняется визуализация распределения искомых физических величин. Конечным результатом этапа являются графики, массивы значений и т.д.

Пакет ANSYS позволяет интегрировать в модули расчетов твердотельные модели из сторонних CAD-систем (Компас, AutoCAD и др.). Однако для более углубленного изучения пакета было решено создать модель пластинчатого теплообменника во встроенном графическом редакторе Geometry ANSYS Workbench. Модуль реализует современные методы моделирования плоской и трехмерной геометрии. Кроме стандартных инструментов геометрического моделирования Geometry Design Modeler имеет ряд специальных функций, позволяющих подготовить модель к инженерному анализу в ANSYS. Геометрическая модель пластинчатого теплообменника представлена на рис. 3.

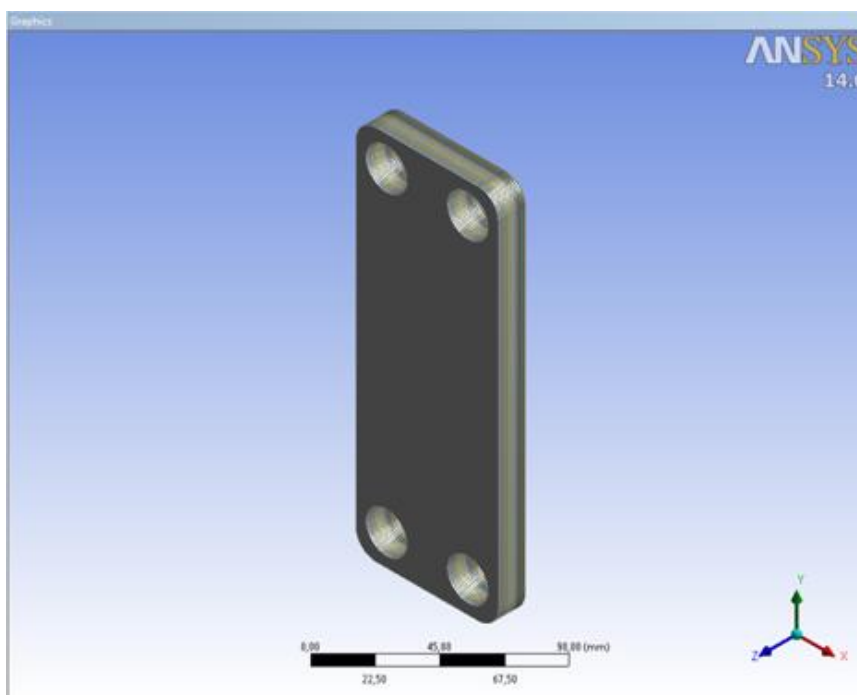


Рис. 3. Геометрическая модель, построенная в модуле Geometry Design Modeler

Первым этапом процесса компьютерного инженерного моделирования является создание сетки. Качество сеточной модели влияет на точность, сходимость и скорость получения решения. Изначально сетка имеет ячейки треугольной формы, но для более точного расчета используется трехмерная тетраэдральная сетка, с размером ячейки $5 \cdot 10^{-3}$ м. Остальные параметры были оставлены без изменений.

Численное решение задачи произведено с помощью программного модуля ANSYS FLUENT, решатель которого основан на методе конечных объемов [2]. При этом область течения разделяется на конечное множество контрольных объемов; в этом множестве контрольных объемов решаются уравнения сохранения массы, импульса, энергии и т.д.; уравнения в частных производных дискретизируются в систему алгебраических уравнений; в завершении осуществляется численное решение этих алгебраических уравнений в расчетной области. Интеграция модуля ANSYS FLUENT в рабочую среду ANSYS Workbench, а также возможность использования модуля ANSYS CFD-Post для обработки результатов создает комплексное решение для выполнения инженерного анализа в области моделирования течений жидкостей и газов.

Начальными условиями были заданы: температура окружающей среды – 27°C, температура горячего теплоносителя на входе в пластинчатый теплообменник – 34,8°C, температура холодного теплоносителя на входе – 36,8°C, атмосферное давление – 101 325 Па. Расход воды из насоса на входной границе – 0,7 л/мин или 0,00001167 м³/с, коэффициент теплоотдачи – 587 Вт/м³·°C. Для проверки сходимости расчета использовался контроль текущих значений и невязок компонентов температуры. Кроме того, осуществлялся контроль массового расхода на входных и выходной границах. Относительная величина невязки не превысила 0,2% (рис. 4).

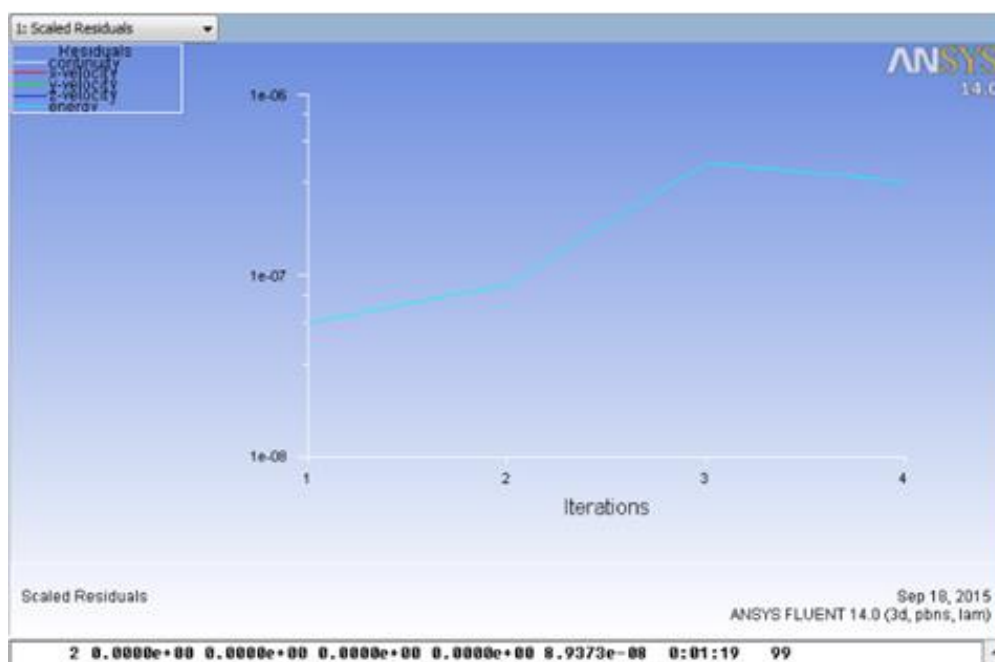


Рис. 4. Окно контроля процесса сходимости решения

Визуализация результатов распределения температуры жидкости в пластинчатом теплообменнике для стационарного решения произведена с помощью модуля ANSYS CFD-Post. Фрагмент представлен на рисунке 5.

В результате расчета температура горячей воды на выходе из пластинчатого теплообменника составила 37°C (310 K), температура холодной воды – 32°C (305 K).

Полученные в ходе компьютерного моделирования результаты согласуются с результатами экспериментального изучения теплообменных процессов в теплообменнике, выполненными авторами в соответствии с методикой проведения лабораторных работ. Несущественную разницу между температурой, полученной экспериментально и в пакете ANSYS, можно объяснить потерями на нагрев металла между термопарой и входом в теплообменник.

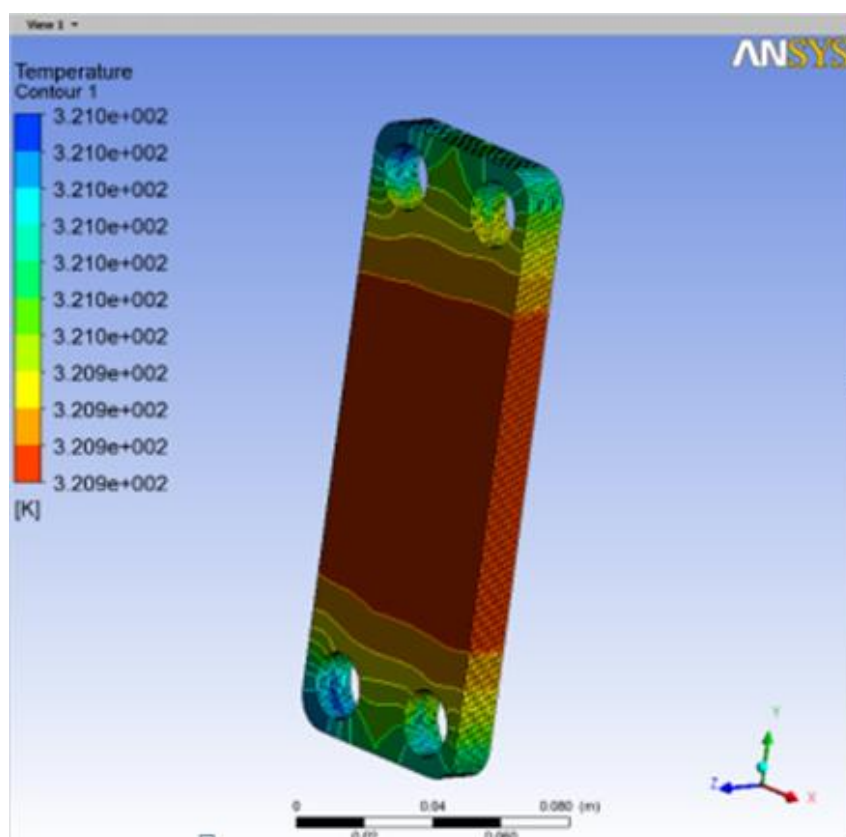


Рис. 5. Распределение температуры воды внутри пластинчатого теплообменника

Разработанная компьютерная модель будет использована в учебном процессе при проведении лабораторных и практических работ соответствующих дисциплин для подготовки бакалавров и магистрантов по направлениям «Металлургия» и «Информационные системы и технологии».

Список использованных источников

1. Основы САПР (CAD/CAM/CAE) / К.Ли. – СПб.: Питер, 2004. – 560 с.
2. Применение системы ANSYS к решению задач геометрического и конечно-элементного моделирования: учебно-методический материал по программе повышения квалификации «Информационные системы в математике и механике» / А.В. Жидков. Нижний Новгород, 2006. – 115 с.
3. Компьютерное моделирование процессов теплообмена в пакете ANSYS для проведения лабораторного практикума при испытании пластинчатого теплообменника / Черемискина Н.А., Гребнева Н.В., Лавров В.В., Киселев Е.В. Системы автоматизации в образовании, науке и производстве: Труды X Всероссийской научно-практической конференции (17–19 декабря 2015 г.). Сиб. гос. индустр. ун-т. – Новокузнецк: изд. центр СибГИУ, 2015. С. 327–331.
4. Инженерный анализ в ANSYS Workbench: учеб. пособ. / В.А. Бруйка, В.Г. Фокин, Е.А. Солдусова [и др.]. – Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2013. – 271 с.
5. Инженерный анализ в ANSYS Workbench. Ч.2: учеб. пособ. / В.А. Бруйка, В.Г. Фокин, Я.В. Кураева. – Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2013. – 149 с.